



**DIEGO COELHO DOS SANTOS**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE  
HÍBRIDOS DE MILHO EM ENSAIOS  
AVANÇADOS**

**LAVRAS – MG**

**2016**

**DIEGO COELHO DOS SANTOS**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO EM  
ENSAIOS AVANÇADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação do Mestrado  
Profissional em Genética e Melhoramento  
de Plantas, área de concentração em  
Genética e Melhoramento de Plantas, para  
a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes  
Orientador

Prof. Dr. Daniel Furtado Ferreira  
Prof. Me. André Luiz Lepre  
Coorientadores

**LAVRAS – MG  
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santos, Diego Coelho dos.

Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho em ensaios  
avanzados / Diego Coelho dos Santos. – Lavras : UFLA, 2016.  
43 p. : il.

TCC(mestrado profissional)–Universidade Federal de Lavras,  
2016.

Orientador: José Airton Rodrigues Nunes.  
Bibliografia.

1. *Zea Mays*. 2. Milho Híbrido. 3. Ensaios não-repetidos. 4.  
Interação Genótipo x Ambiente. I. Universidade Federal de Lavras.  
II. Título.

**DIEGO COELHO DOS SANTOS**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO EM  
ENSAIOS AVANÇADOS**

***ADAPTABILITY AND STABILITY OF CORN HYBRIDS IN ADVANCED  
TRIALS***

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação do Mestrado  
Profissional em Genética e Melhoramento  
de Plantas, área de concentração em  
Genética e Melhoramento de Plantas, para  
a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 30 de Agosto de 2016.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi      UFLA

Dr. Maurisrael de Moura Rocha      EMBRAPA

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes  
Orientador

Prof. Dr. Daniel Furtado Ferreira

Prof. Me. André Luiz Lepre  
Coorientadores

**LAVRAS – MG  
2016**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelas oportunidades a mim concedidas.

Ao meu pai Delto, por todos os ensinamentos pessoais e profissionais.

A minha mãe Neide pelo companheirismo de uma mãe presente em todos os momentos.

A todos os meus irmãos, Janine e Gustavo, por todas as vibrações positivas emanadas por eles.

A minha esposa Juliana, pelo amor e companheirismo em nossa relação e ao nosso filho João, por ser nosso presente de Deus para formação de nossa família.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas - Mestrado Profissional, pela oportunidade de cursar o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio concedido ao Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas da UFLA.

Ao professor e orientador Dr. José Airton Rodrigues Nunes, pela orientação, confiança, paciência e por não desistir mesmo com todos os percalços por que passamos.

Aos coorientadores Dr. Daniel Furtado Ferreira (UFLA) e André Luiz Lepre (DuPont Pioneer).

Especialmente ao futuro Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Carlos Henrique Pereira, pelo auxílio para conseguirmos finalizar este trabalho.

E a todos que de uma maneira ou outra contribuíram para o término deste trabalho, colegas de curso, demais professores, funcionários do

departamento e aos colegas da DuPont Pioneer por me concederem a oportunidade de adentrar e finalizar o curso de mestrado.

## RESUMO

Nos programas de melhoramento de milho das empresas privadas é comum realizar os chamados ensaios de avanço de produto em vários ambientes de cultivo pelos produtores no intuito de melhor posicionar os novos híbridos, bem como oportunizar a avaliação por parte dos produtores. Neste trabalho objetivou-se descrever a adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho a partir de ensaios não repetidos de avanço de produto (PAT) utilizando a abordagem AMMI (*additive main effects and multiplicative interaction*) e métodos complementares. Foram considerados os dados de produtividade de grãos de doze híbridos de milho avaliados numa rede de ensaios de avanço de produto conduzidos pela empresa DuPont Pioneer em 80 ambientes de cultivo nos estados de Minas Gerais e Goiás na safreinha de 2014. Foi empregada a análise AMMI juntamente com os métodos de regressão linear bissegmentada, de Annicchiarico (1992) e Lin e Binns (1988). Foram observadas diferenças significativas entre os híbridos sob teste, bem como marcante variação macro ambiental. O efeito da interação dos híbridos por ambientes foi expressivo. A aplicação do método AMMI possibilitou o estudo da interação dos híbridos por ambientes a partir de PATs de milho. Os híbridos 7 e 8 são recomendados para os ambientes de maior qualidade ambiental, conforme apontado pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), enquanto que os híbridos 3, 5 e 12 apresentam adaptabilidade ampla. Os métodos de Lin e Binns e Annicchiarico assinalam o híbrido 8 como o mais promissor, por associar elevada produtividade e menor risco de adoção pelos produtores nos ambientes de cultivo testados.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Milho Híbrido. Ensaios sem repetição. Interação Genótipo x Ambiente.

## ABSTRACT

In corn breeding programs conducted by private companies, it is common to perform the product advanced trials in several cultivation environments in order to better position the new hybrids, as well as to provide opportunities for the producers to evaluate their product. In this work, we aimed at describing the adaptability and stability of corn hybrids using unreplicated product advanced trials (PAT) with AMMI (additive main effects and multiplicative interaction) approach and complementary methods. We considered the grain productivity data of twelve corn hybrids evaluated in a product advanced trial network conducted by the company DuPont Pioneer in 80 cultivation environments in the states of Minas Gerais and Goiás, in interim-harvest of 2014. The AMMI analysis was employed along with the bisegmental lineal regression methods, developed by Lin and Binns and by Annicchiarico. Significant differences, as well as a marked macro-environmental variation, were verified between the tested hybrids. The effect of hybrid interaction by environments was expressive. The application of the AMMI method allowed the study of hybrid interaction by environment based on the corn PAT's. Hybrids 7 and 8 are recommended for higher quality environments, according to results obtained by Cruz et al. (1989), while hybrids 3, 5 and 12 presented wide adaptability. The methods developed by Lin and Binns and by Annicchiarico show hybrid 8 as the most promising for associating high productivity and lower risk in the tested cultivation environments.

**Keywords:** *Zea mays*. Hybrid corn. No-replicate trial. Genotype x Environment Interaction.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa da distribuição dos locais nos estados de Minas Gerais e Goiás em que foram conduzidos os ensaios de avanço de híbridos de milho na safrinha de 2014. ....23
- Figura 2 - Decomposição da interação dos híbridos por ambientes pelo método AMMI referente a ensaios avançados de milho conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014. ....28
- Figura 3 - Representação gráfica das médias de produtividade de doze híbridos de milho e os valores do índice de Lin e Binns (P%) referente aos ensaios de avanço de produto conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014. ....33
- Figura 4 - Representação gráfica das médias de produtividade de doze híbridos de milho e os valores do índice de confiabilidade de Annicchiarico (I) referente aos ensaios de avanço de produto conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014 .....35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos locais em que foram conduzidos os ensaios de avanço de híbridos de milho na safrinha de 2014. ....	21
Tabela 2 - Híbridos de milho avaliados durante os ensaios de avanço de produto na safrinha de 2014. ....	24
Tabela 3 - Resumo da análise de variância conjunta e decomposição pelo método AMMI para o caráter produtividade de grãos referente à avaliação de híbridos de milho em ensaios de avanço de produto conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014. ....	27
Tabela 4 - Valores médios das produtividades de grãos de híbridos de milho (sacas/ha), com teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade, e resumo da análise de adaptabilidade e estabilidade com base na regressão linear bissegmentada pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) referente aos ensaios avançados de milho conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014. ....	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
<b>2.1</b>	<b>A cultura do milho no Brasil</b> .....	13
<b>2.2</b>	<b>Programas de melhoramento do milho</b> .....	13
<b>2.3</b>	<b>Interação genótipos por ambientes</b> .....	16
<b>2.4</b>	<b>Adaptabilidade e estabilidade fenotípica</b> .....	17
<b>2.5</b>	<b>Utilização da análise AMMI</b> .....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
<b>3.1</b>	<b>Descrição dos ensaios de avanço de produto</b> .....	21
<b>3.2</b>	<b>Análises estatísticas</b> .....	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	37
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	39

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da população mundial e, por conseguinte, da demanda por alimentos, fibra e energia, os programas de melhoramento das principais culturas, a exemplo do milho, têm como meta a busca contínua por híbridos que apresentem produtividades maiores do que os existentes no mercado. De acordo com Ramalho, Dias e Carvalho (2012), a produtividade por área na cultura do milho no Brasil cresceu, nos últimos 40 anos, a uma taxa de  $75,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo, pelo menos, 50% deste incremento atribuídos ao melhoramento genético. Contudo, existe uma grande variação na produtividade por área nos diferentes ambientes de cultivo, o que está relacionado com as diferenças edafo-climáticas, incidência e susceptibilidade a patógenos e insetos pragas e, indubitavelmente, a diferenças associadas aos variados níveis tecnológicos adotados pelos produtores. Este último fator é altamente explicativo da baixa produtividade média brasileira.

O amplo número de ambientes de cultivo de milho no Brasil aliado às flutuações observadas em distintas safras e anos agrícolas remete à necessidade de intensificação das atividades de avaliação para fins de minimização do risco de recomendação dos híbridos por parte das empresas. Por isso, além dos ensaios finais de valor de cultivo e uso, as empresas, a exemplo da DuPont Pioneer, dedicam um aporte adicional de recursos nos chamados ensaios de avanço de produto ou PAT (*Product Advancement Trials*), nos quais os híbridos novos em teste são comparados com híbridos comerciais já bem adaptados a diferentes regiões do país.

Os PATs são de suma importância para as empresas, pois permitem primariamente que os produtores verifiquem o potencial *in loco* dos novos híbridos. Ademais, apesar da disponibilidade dos dados advindos destes ensaios, estes ensaios têm sido subutilizados para fins das atividades de melhoramento. Deste modo, vislumbra-se a possibilidade de melhor utilizar estes ensaios para

estudo da interação genótipo x ambiente e, por conseguinte, melhor descrição dos híbridos de milho com base na adaptabilidade e estabilidade.

Uma peculiaridade dos ensaios avançados é que estes são conduzidos sem repetição (*nonreplicated trials*), o que traz a dificuldade de realização de testes estatísticos por não dispormos de uma estimativa direta da variância do erro experimental. Uma forma de suplantar este obstáculo pode ser por meio do uso de modelo de interação multiplicativa, a exemplo do modelo AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*) (GAUCH; ZOBEL, 1996; MILLIKEN; JOHNSON, 2000). Este método tem sido largamente usado para estudo da interação genótipos x ambientes em milho e proporciona uma descrição mais detalhada da variação da interação entre fatores, decompondo-a em parte atribuída ao padrão (*signal*) deste efeito de interação e outra atribuída ao ruído (*noise*) (GAUCH, 2013). Desta forma, a variação atribuída ao ruído tem a conotação da variação atribuída a fatores ambientais aleatórios, podendo, assim, constituir o resíduo do modelo. Assim, a aplicação do método AMMI em ensaios multiambientais não repetidos, como é o caso dos PATs, poderá viabilizar uma inferência mais acurada acerca das propriedades dos híbridos em teste, por meio do emprego de métodos complementares de estudo de adaptabilidade e estabilidade.

Diante do exposto, neste trabalho objetivou-se descrever a adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho a partir de ensaios não repetidos de avanço de produto (PAT) utilizando a abordagem AMMI e métodos complementares.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A cultura do milho no Brasil**

O milho (*Zea mays* L.) é uma das plantas mais cultivadas no planeta, que vão desde a alimentação humana e animal até a produção de bioenergia, sendo utilizado em uma infinidade de produtos. Trata-se de uma espécie de relevância na agricultura brasileira, tanto do ponto de vista de segurança alimentar quanto do desenvolvimento regional.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, depois dos EUA e China (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2012). O milho no Brasil ocupa o segundo lugar em área plantada e em produção, sendo excedida apenas pela soja. Na safra de 2013/2014 a área cultivada foi de 15,7 milhões de ha, com produção de 78,2 milhões de toneladas e produtividade média de 4.966 kg ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014). Essa produtividade média ainda é considerada baixa quando comparada à produtividade potencial.

A produção de milho no Brasil é concentrada nas regiões Centro-Oeste (36,81%), Sul (36,21%) e Sudeste (16,40%), mas é cultivada em todo território nacional (ANUÁRIO..., 2013).

### **2.2 Programas de melhoramento do milho**

O melhoramento genético do milho no Brasil tem contribuído significativamente para o aumento de produtividade, onde houve incremento de 1.618 kg/ha<sup>-1</sup>, nos últimos 31 anos (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2010). Embora não estejam disponíveis as informações a respeito do percentual dos fatores (genético ou ambiental) responsáveis por este aumento, a exemplo do que ocorreu nos EUA, o melhoramento genético, associado às inovações no manejo fitotécnico da cultura, mostra-se fundamental para o aumento dessa produtividade.

O milho é a principal espécie alógama não apenas pela sua importância mundial, mas também pela grande representatividade em termos científicos e tecnológicos (DESTRO; MONTALVÁN, 1999). Graças a sua característica monóica e também pelo fácil manuseio, pela natureza dos cromossomos e pelo baixo número de cromossomos ( $n=10$ ) (BORÉM; GIÚDICES, 2004), o milho é uma das espécies que mais se presta aos estudos genéticos. Outras características que fazem desta uma espécie ótima para estudos citogenéticos e de melhoramento são o pólen abundante e os ovários em grande quantidade, que facilitam a fecundação cruzada natural e os cruzamentos dirigidos (DESTRO; MONTALVÁN, 1999).

A formação de híbridos é um método de melhoramento que tem como objetivo tirar o máximo de proveito da heterose. A hibridação no sentido mais amplo tem-se constituído em uma ferramenta de grande importância no melhoramento de grande parte das espécies cultivadas, pois sua prática permite tanto a exploração do vigor de híbrido na geração F1 como também permite o aparecimento de variabilidade genética em populações (MIRANDA FILHO; NASS, 2001).

O método de hibridação vem sendo aplicado com grande sucesso nos programas de melhoramento de milho. Segundo Hallauer (1990), o milho híbrido se destaca dentre as contribuições da ciência para a sociedade, desde o aparecimento do homem até os dias atuais, tendo grande contribuição nos expressivos aumentos na produtividade deste grão em todo o mundo e com repercussão em todas as espécies cultivadas.

Os primeiros estudos acerca da hibridação em milho foram conduzidos por East (1909) e Shull (1909). Em seus estudos, Shull (1909) concluiu que a partir de uma população, constituída de vários genótipos, é possível a obtenção de linhagens puras que, ao serem intercruzadas, restauram o vigor perdido com as sucessivas autofecundações.

O milho híbrido foi introduzido na agricultura moderna por volta de 1920. Os primeiros híbridos comerciais apareceram na década de 30, substituindo gradativamente as variedades de polinização aberta. No final da década de 30, os híbridos já representavam 75% da área cultivada com milho nos Estados Unidos, alcançando o índice de 95% na década de 60 (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2001).

O primeiro programa de milho híbrido no Brasil foi desenvolvido em 1932, no Instituto Agrônomo de Campinas. Jones (1918) sugeriu o uso de híbridos duplos, resultantes do cruzamento de dois híbridos simples. Este evento fez com que as desvantagens da produção de sementes de híbridos simples fossem superadas e a partir deste episódio o uso comercial de sementes de milho híbrido foi aceito. No IAC, Krug e colaboradores produziram, em 1932, o primeiro híbrido duplo brasileiro. Conforme Souza Sobrinho (2001), o primeiro híbrido comercial foi produzido em 1938 por Gladstone e Antônio Secundino, na Universidade Federal de Viçosa, oriundo de um cruzamento entre as variedades Cateto e Amarelão. Os trabalhos destes últimos pesquisadores tiveram continuidade com a fundação da Companhia Sementes Agroceres S/A.

O mercado brasileiro atual é caracterizado de acordo com as principais empresas do setor, com a existência de segmentos de altíssima (20% do mercado), alta (32% do mercado), média (48% do mercado) e baixa tecnologia (0%). Os dois primeiros atendem aos produtores que utilizam híbridos (simples, triplos e duplos) em seu plantio, insumos e práticas agrícolas modernas; o terceiro segmento representa agricultores cujas atividades são baseadas em sistemas agrícolas precários, com a utilização de híbridos duplos; o quarto segmento utiliza em seu plantio variedades de polinização aberta ou ainda as chamadas “sementes de paiol” (sementes próprias), não sendo considerados como segmento de mercado (pela não aquisição de sementes no mercado),

tornando-se um dos motivos da baixa produtividade no Brasil (ROSINHA, 2000).

### **2.3 Interação genótipos por ambientes**

A interação genótipos x ambientes (GxA) é caracterizada quando o comportamento dos genótipos (linhagens, híbridos, clones ou cultivares) não são consistentes nos diferentes ambientes. Isto é, as respostas dos genótipos são diferentes frente às alterações que ocorrem nos ambientes (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008). A resposta dos genótipos às mudanças ambientais é resultante de dois tipos de variações ambientais: previsíveis e imprevisíveis. A primeira inclui todas as condições permanentes do ambiente, que variam de maneira sistemática. Já as imprevisíveis são as que mais contribuem para as interações genótipos x anos e genótipos x locais, bem como para as interações mais complexas como a interação tripla genótipos x locais x anos, correspondem às variações dos fatores ambientais, como precipitação, temperatura e outros (ALLARD; BRADSHAW, 1964; FEHR, 1987).

A interação GxA pode ser dividida em duas partes. Uma de natureza simples, quando não ocorre alteração das posições relativas dos genótipos avaliados num conjunto de ambientes. A outra chamada de complexa ocorre quando a correlação entre o desempenho dos genótipos ao longo dos ambientes em estudo é baixa, o que faz com que a posição relativa dos genótipos seja alterada em virtude das diferentes respostas às variações ambientais (ROBERTSON, 1959).

A quantificação dos componentes da interação GxA é muito importante na tomada de decisão por parte do melhorista (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Sendo assim, quando predominam interações simples, a seleção e indicação de cultivares pode ser realizada de maneira generalizada. Entretanto, quando predomina interação do tipo complexa, caracterizada pela presença de

genótipos adaptados a ambientes particulares, o trabalho do melhorista é dificultado, uma vez que a recomendação de cultivares é restrita a ambientes específicos.

A ocorrência de interação GxA de natureza complexa é esperada em programas comerciais voltados à obtenção de novas cultivares. São demandados grandes esforços na avaliação de genótipos em uma gama de ambientes em sucessivos anos (BERNARDO, 2002). O autor relata ainda que os híbridos comerciais de milho nos Estados Unidos da América são testados em cerca de 120 a 2100 locais diferentes antes de sua comercialização. No Brasil, a ocorrência de interações complexas em milho é fato esperado entre e dentro das regiões de cultivo. Isso pode ser constatado analisando-se os resultados de ensaios de híbridos comerciais, conduzidos sob coordenação nacional da Embrapa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2008).

A natureza da interação GxA pode ser atribuída a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada cultivar. Em termos genéticos, a interação GxA pode ocorrer quando a contribuição dos genes que controlam o caráter ou o nível de expressão dos mesmos difere entre os ambientes. Isso ocorre porque a expressão dos genes é influenciada e/ou regulada pelo ambiente (KANG, 1998).

Na literatura são descritos meios para atenuar o efeito da interação GxA, dentre eles pode-se destacar a identificação de cultivares específicas para determinados ambientes, que segundo Ramalho, Santos e Zimmermann (1993) é praticamente inviável, e a identificação de cultivares com maior adaptabilidade e estabilidade.

#### **2.4 Adaptabilidade e estabilidade fenotípica**

Na literatura são descritas diversas metodologias para se estimar os parâmetros relacionados com a adaptabilidade e estabilidade de genótipos. Cada

uma delas possui vantagens e desvantagens. Detalhes sobre elas podem ser encontrados em Crossa (1990), Cruz e Carneiro (2004) e Lin, Binns e Lefkovitch (1986).

Cruz e Carneiro (2004) especificam diferentes conceitos de adaptabilidade e estabilidade, e dentro desses estão as definições de Mariotti et al. (1976), que definem o termo adaptabilidade como a capacidade de os genótipos responderem vantajosamente à melhoria do ambiente; uma vantagem do ponto de vista do rendimento agrícola. A estabilidade é conceituada como a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais. Segundo Lin, Binns e Lefkovitch (1986), existem três conceitos de estabilidade:

Na estabilidade tipo 1, a cultivar será considerada estável se sua variância entre ambientes é pequena. A estabilidade tipo 2 ocorre quando a resposta da cultivar ao ambiente é paralela ao desempenho médio de todas as cultivares avaliadas nos experimentos. Na estabilidade tipo 3, a cultivar será estável se o quadrado médio dos desvios de regressão que avalia a estabilidade é pequeno.

Posteriormente, Lin e Binns (1988) propuseram um quarto tipo. Segundo os autores, a cultivar será considerada estável se o quadrado médio da interação genótipos x anos dentro dos locais for pequeno.

Considerando esse tipo de estabilidade (tipo 2), existem várias metodologias que podem ser utilizadas para mensurar este parâmetro. Dentre os métodos propostos, pode-se destacar o de Wricke (1965), cujo parâmetro é denominado de “ecoalência” ( $W_i$ ), que estima o quanto cada cultivar contribui para a interação GxA. Quanto menor for a estimativa de  $W_i$ , mais estável será a cultivar.

Outra metodologia para estimar a adaptabilidade e estabilidade foi desenvolvida por Annicchiarico (1992). O método baseia-se na estimação de um

índice de confiança (ou índice de recomendação) de um determinado genótipo mostrar comportamento relativamente superior. Nesse método, a adaptabilidade e estabilidade são mensuradas pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente. Com isso, estima-se um risco de adoção de cada cultivar. Essa estimativa de risco é normalmente levada em conta no planejamento econômico da propriedade.

## **2.5 Utilização da análise AMMI**

A metodologia AMMI é uma das metodologias de análise da interação GxA cujo objetivo principal é selecionar modelos que expliquem o padrão relacionado à interação ( $SQ_{GxA}$  Padrão), dissociando os ruídos presentes nos dados e sem interesse agrônomico ( $SQ_{GxA}$  Ruído).

Proposto inicialmente por Mandel (1971), o modelo AMMI baseia-se na decomposição das fontes de variação em efeitos aditivos de genótipos e ambientes de modo tradicional e, posteriormente, em efeitos multiplicativos para a interação GxA pela análise de componentes principais, o que permite um detalhamento maior da soma de quadrados da interação GxA (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988).

A análise AMMI pode auxiliar tanto na identificação de genótipos com alta produtividade e amplamente adaptados, como na realização do zoneamento agrônomico com a finalidade de recomendação regionalizada e seleção de locais de teste (GAUCH; ZOBEL, 1996). O método ainda permite a obtenção de estimativas mais precisas das respostas genotípicas, e possibilita uma fácil interpretação gráfica dos resultados da análise estatística, através do procedimento biplot (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988). Adicionalmente, também é uma ferramenta apropriada para diagnóstico em situações em que a interação significativa é acompanhada por não significância dos efeitos aditivos

principais de genótipos e ambientes ou quando a estrutura da interação GxA é influenciada por "outliers" (SHAFII; PRICE, 1998).

Outra vantagem apresentada pelo modelo AMMI diz respeito à representação gráfica, onde são plotados os escores dos efeitos da interação para cada genótipo e para cada ambiente, simultaneamente. A interpretação é feita observando a magnitude e o sinal dos escores de genótipos e ambientes para o eixo de componentes principais. Escores baixos indicam genótipos e/ou ambientes que contribuem pouco ou quase nada para a interação GxA, sendo, portanto, estáveis. Tais genótipos podem ser recomendados amplamente desde que tenham médias elevadas. Em ambientes estáveis, o ordenamento dos genótipos deve ser mais consistente. Esse tipo de informação permite aos melhoristas selecionar também locais de testes, conforme seus interesses. Portanto, esse gráfico fornece informações sobre a estabilidade de genótipos e também de ambientes, além de permitir a realização de zoneamentos ecológicos, com a seleção de locais chaves (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

Esse fato é vantajoso na seleção de genótipos, quando comparado com os modelos tradicionais de estabilidade (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988). Nos métodos usuais de regressão linear, estudam-se os efeitos ambientais dentro dos genótipos, o que auxilia no processo de recomendação de cultivares, mas, certamente, não explicita a identificação de relações importantes no discernimento das causas da interação GxA (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

Por esses motivos, o método AMMI tem maior aplicabilidade na análise de dados experimentais na área agrônômica (CROSSA, 1990; CROSSA et al., 1991; DE CAUWR; ORTIZ, 1998; DUARTE; VENCOVSKY, 1999; GAUCH, 1988, 1990, 1992; GAUCH; ZOBEL, 1996; PIEPHO, 1995; THALLAINATHAN; FERNANDEZ, 2001; VARGAS et al., 2001; YAN et al., 2001; ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição dos ensaios de avanço de produto

Foram considerados os dados produtividade de grãos de ensaios de avanço de produto (PAT) de milho realizados pela empresa DuPont Pioneer na segunda safra (safrinha) de 2014. Foram conduzidos 80 ensaios (ambientes) em propriedades de produtores situadas em 38 locais nos estados de Minas Gerais e Goiás, conforme descritos na Tabela 1 e Figura 1. As sementeiras dos híbridos ocorreram de forma “lado a lado” nas propriedades de produtores rurais nos locais listados anteriormente (TABELA 1). A parcela foi constituída por 6 linhas de 100 metros de comprimento e a densidade de sementeira de 60 mil sementes ha<sup>-1</sup>. As sementes foram previamente tratadas com fungicidas e inseticidas.

Tabela 1 - Descrição dos locais em que foram conduzidos os ensaios de avanço de híbridos de milho na safrinha de 2014.

(Continua)

Local	Estado	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Araguari	MG	890	-18,54	-48,34
Capinópolis	MG	460	-49,48	-18,61
Indianópolis	MG	971	-18,9	-47,87
Nova Ponte	MG	1.009	-19,29	-47,69
Planura	MG	495	-34,35	-34,4
Romaria	MG	982	-18,97	-47,64
Santa Juliana	MG	842	-47,51	-19,38
Unaí	MG	946	-16,64	-47,2
Bom Jesus de Goiás	GO	607	-18,09	-49,85
Cabeceiras	GO	896	-15,65	-47,16
Caiapônia	GO	779	-30,97	-37,77
Caldas Novas	GO	780	-17,71	-48,65
Chapadão do Céu	GO	819	-18,46	-52,56
Edeia	GO	570	-17,38	-49,93
Gameleira de Goiás	GO	890	-16,4	-48,68
Goiatuba	GO	571	-17,89	-49,51
Itaberaí	GO	696	-15,89	-49,69
Itumbiara	GO	525	-18,42	-49,28

Tabela 1 - Descrição dos locais em que foram conduzidos os ensaios de avanço de híbridos de milho na safrinha de 2014.

(Conclusão)

Local	Estado	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Jatai	GO	867	-22,06	-47,57
Jovânia	GO	790	-17,83	-49,64
Mineiros	GO	944	-17,41	-52,85
Montes Claros de Goiás	GO	370	-15,98	-51,38
Montividiu	GO	897	-17,4	-51,3
Morrinhos	GO	791	-49,13	-17,77
Palestina de Goiás	GO	734	-34,04	-34,07
Palmeiras de Goiás	GO	631	-33,45	-33,37
Paraúna	GO	540	-50,33	-17,45
Perolândia	GO	944	-17,43	-52,31
Piracanjuba	GO	775	-17,3	-49,07
Portelândia	GO	907	-17,39	-52,75
Rialma	GO	600	-49,53	-15,34
Rio Verde	GO	797	-26,07	-42,7
Santa Helena de Goiás	GO	565	-50,58	-17,8
São Joao da Paraúna	GO	645	-16,82	-50,37
São Miguel P. Quatro	GO	896	-17,07	-48,64
Serranópolis	GO	773	-35,18	-35,06
Silvania	GO	894	-32,58	-32,45
Vianópolis	GO	939	-16,9	-48,39

Fonte: (DUPONT PIONEER, 2014)



Nesta rede de ensaios PATs foram avaliados doze híbridos, dentre novos e comerciais (TABELA 2). A adubação das áreas foi definida com base nas análises de solo. O controle de plantas daninhas e de pragas ao longo da cultura foi efetuado mediante controle químico, sempre que necessário.

Tabela 2 - Híbridos de milho avaliados durante os ensaios de avanço de produto na safrinha de 2014.

Híbrido	Transgenia
1	VT2P
2	VT2P,HX1,LL
3	Conv.
4	YGCB,HX1,LL
5	YGCB,HX1,LL
6	YGCB,HX1,LL
7	HX1,LL
8	HX1,LL
9	HX1,LL
10	HX1,LL
11	HX1,LL
12	VTP

Fonte: (DUPONT PIONEER, 2014).

A colheita foi realizada atendendo aos padrões pré-estabelecidos pela empresa por meio de protocolo de trabalho, levando em consideração diferenças entre híbridos quanto à precocidade e padronizando a umidade dos grãos entre 18 e 24%. Foram tomados os dados de produtividade de grãos, em toneladas por hectare, corrigido para 13% de umidade.

### 3.2 Análises estatísticas

Primeiramente, os dados da produtividade de grãos dos híbridos nos ensaios PATs foram analisados pelo método AMMI, conforme modelo apresentado a seguir:

$$y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{c=1}^q \varpi_c \alpha_{ic} \gamma_{jc} + \delta_{ij},$$

em que:  $\mu$  é uma constante associada a todas as observações;  $g_i$  é o efeito principal associado ao híbrido  $i$ ;  $a_j$  é o efeito principal associado ao ambiente  $j$ ;  $\varpi_c$  é o valor singular do  $c$ -ésimo componente principal relacionado à interação GxA;  $\alpha_{ic}$  é o autovetor do  $c$ -ésimo componente principal relacionado ao híbrido  $i$ ;  $\gamma_{jc}$  é o autovetor do  $c$ -ésimo componente principal relacionado ao ambiente  $j$ ;  $\delta_{ij}$  é o ruído associado ao modelo AMMI.

A adequacidade de ajuste do modelo AMMI foi inferida a partir do teste de qui-quadrado dos desvios (*deviance*). Os graus de liberdade associados aos termos multiplicativos ou bilineares do modelo foram obtidos pela aproximação de Gollob (DUARTE; VENCOVSKY, 1999). A partir da escolha do modelo, utilizou-se a variação atribuída ao ruído para fazer a inferência sobre os efeitos principais e da interação GxA. Procedeu-se à análise de agrupamento das médias fenotípicas ajustadas dos híbridos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2013).

A partir das médias fenotípicas ajustadas do modelo AMMI escolhido, foram realizadas as análises de adaptabilidade e estabilidade dos híbridos por meio do programa computacional Estabilidade (FERREIRA, 2000), mediante aplicação dos métodos de Annicchiarico (1992), Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e Lin e Binns (1988), conforme descritos em Cruz e Carneiro (2004) e Cruz, Regazzi e Carneiro (2012).

Para o método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), ajustou-se o modelo de regressão linear bissegmentada, conforme modelo:

$$y'_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij},$$

Em que:  $y'_{ij}$ : média ajustada pelo modelo AMMI10 do híbrido  $i$  no ambiente  $j$ ;  $I_j$ : índice ambiental ou efeito do ambiente  $j$ ;  $\beta_{0i}$ ,  $\beta_{1i}$  e  $\beta_{2i}$ : coeficientes de regressão;  $T(I_j) = 0$ , se  $I_j < 0$ ; caso contrário  $T(I_j) = I_j - I_+$ , sendo  $I_+$  a média dos índices  $I_j$  positivos;  $\delta_{ij}$ : Desvio da regressão associado a  $y'_{ij}$ ;  $\varepsilon_{ij}$ : resíduo do modelo AMMI10 associado à observação  $y_{ij}$ .

Neste método, o híbrido ideal foi identificado como aquele que associa média alta (alto  $\beta_0$ ), adaptabilidade a ambientes desfavoráveis ( $\beta_{1i} < 1$ ), responsividade à melhoria ambiental ( $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$ ) e desvio da regressão não significativo. A estabilidade dos híbridos foi aferida pelo teste F dos desvios do modelo com descrição complementar pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Para o método de Lin e Binns (1988) estimou-se o parâmetro de adaptabilidade e estabilidade  $P_i$ , o qual se refere ao quadrado médio dos desvios entre as médias do híbrido em cada ambiente relativo ao máximo alcançado no ambiente, conforme expressão:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (y'_{ij} - M_j)^2}{2n}$$

Em que:  $P_i$ : índice de adaptabilidade e estabilidade do híbrido  $i$ ;  $y'_{ij}$ : média ajustada pelo modelo AMMI10 do híbrido  $i$  no ambiente  $j$ ;  $M_j$ : produtividade máxima no ambiente  $j$ ;  $n$ : número de ambientes.

Para o método de Annicchiarico (1992) calculou-se o índice de confiabilidade de cada híbrido ou risco de apresentar o menor rendimento a partir da seguinte expressão:  $I_i = p_i - z_{(1-\alpha)} s_{pi}$ , em que  $p_i$  é a média relativa (%) do híbrido  $i$ ;  $s_{pi}$  é o desvio-padrão dos valores das médias relativas do híbrido  $i$  nos diferentes ambientes;  $z_{(1-\alpha)}$  é o quantil superior da distribuição normal padrão para um coeficiente de confiança  $(1-\alpha)$ . Neste estudo foi pré-estabelecido um  $\alpha = 0,25$ .

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise conjunta dos ensaios PATs (TABELA 3), foi constatado diferença significativa entre os híbridos a 1% de probabilidade no conjunto dos 80 ambientes. Essa alta significância foi também verificada para ambientes, demonstrando as diferenças ou diversidade macroambiental, que correspondeu a uma maior fração da variação fenotípica (69,31%).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância conjunta e decomposição pelo método AMMI para o caráter produtividade de grãos referente à avaliação de híbridos de milho em ensaios de avanço de produto conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014.

FV	GL	QM	%SQ
Híbridos	11	2668453**	1,25
Ambientes	79	20561838**	69,31
(H x A)	869	396869	14,72
H x A PC1:10	800	415974**	14,20
Resíduo AMMI10	69	175362	0,52

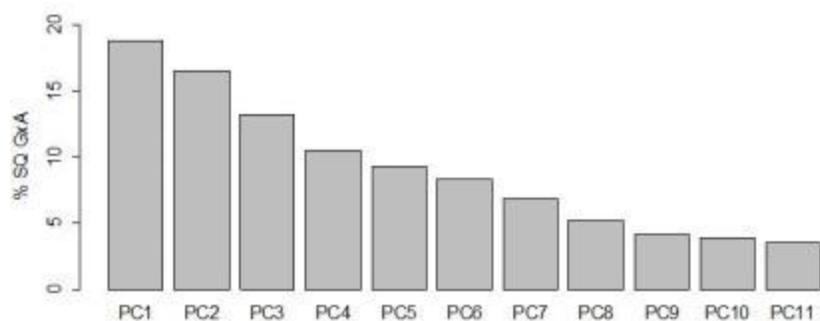
Fonte: (DUPONT PIONEER, 2014).

\*\*Significativo a 1 % de probabilidade.

A existência de variação significativa para híbridos e para ambientes perfaz-se importante para permitir uma estimação mais fidedigna da interação dos híbridos por ambientes. Vale salientar, que neste caso de ensaios não repetidos, a variação atribuída aos desvios dos efeitos principais de híbridos e de ambientes congrega a variação atribuída ao efeito da interação dos híbridos por ambientes e a variação microambiental média (erro experimental), sendo assim necessário o emprego de técnica estatística apropriada que permita dissociar estas fontes de variação.

O método AMMI possibilita separar a variação inerente ao padrão da interação entre fatores, no caso dos híbridos por ambientes, o chamado *signal*, da variação atribuída ao ruído (*noise*) (GAUCH, 2013). A partir da análise por diferentes modelos AMMI, observou-se que a *deviance* foi seguidamente significativa do modelo mais parcimonioso (AMMI0) ao mais parametrizado (AMMI10). Este fato pode ser ratificado pela Figura 2, que realça que a variação capturada ficou bastante fracionada entre os componentes principais. Deste modo, optou-se por adotar o modelo AMMI10 e utilizar o resíduo deste modelo como testador dos efeitos da interação dos híbridos por ambientes.

Figura 2 - Decomposição da interação dos híbridos por ambientes pelo método AMMI referente a ensaios avançados de milho conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014.



Fonte: (DUPONT PIONEER, 2014).

A variação atribuída à interação dos híbridos por ambientes, capturada pelos termos bilineares do modelo AMMI10, correspondeu a 14,2% da variação fenotípica e foi altamente significativa ( $P < 0,01$ ) (TABELA 3). Isto indica que os níveis de produtividade dos híbridos nos vários locais foram diferenciados. Pode-se assumir, ainda, que essa interação possa refletir na existência de híbridos de milho com adaptação específica e outros de adaptação ampla.

O caráter produtividade de grãos se constitui num índice natural resultante da expressão de um grande número de genes relacionados com a expressão de várias características. Além disso, muitos estudos têm destacado que a variância fenotípica para produtividade de grãos em milho é fortemente influenciada por fatores não genéticos (e.g. bióticos e abióticos) e com presença sempre marcante do fenômeno da interação GxA, especialmente no que concerne ao tipo de cultivar mais utilizada em milho, no caso o híbrido simples.

Os gráficos biplot obtidos a partir da análise AMMI têm grande utilidade para descrever a interação GxA, especialmente quando até os dois primeiros componentes principais são altamente explicativos do padrão da interação genótipos por ambientes, fato que aparentemente não ocorreu no presente caso. Dessa forma, um estudo mais detalhado da interação GxA por meio de métodos complementares de estudo de estabilidade e adaptabilidade é justificado.

Concernente ao desempenho médio exibido pelos híbridos, pode-se observar, com base no resultado do teste de Scott-Knott (TABELA 4), que os híbridos 1, 3, 5, 7, 8 e 12 foram os que associaram as melhores produtividades médias nos ambientes avaliados, enquanto que os híbridos 2, 4, 10 e 11 tiveram, estatisticamente, as produtividades mais baixas. Contudo, conforme fora mencionado anteriormente, a descrição mais pormenorizada de um híbrido exige que também se agregue informações acerca da adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

Tabela 4 - Valores médios das produtividades de grãos de híbridos de milho (sacas/ha), com teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade, e resumo da análise de adaptabilidade e estabilidade com base na regressão linear bissegmentada pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) referente aos ensaios avançados de milho conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014.

Híbridos	Médias	Grupo	$b_1^{1/}$	$b_2^{2/}$	$b_1 + b_2^{3/}$	$R^2$ (%) <sup>4/</sup>
8	126,1	A	1,08*	0,08	1,15	85,23*
3	124,2	A	1,07	-0,24*	0,83	80,37*
12	123,5	A	1	-0,05	0,94	78,99*
5	123,5	A	0,93	-0,06	0,88	84,06*
1	123,4	A	0,99	-0,24*	0,76*	85,07*
7	122,5	A	1,15*	-0,05	1,1	86,87*
6	120,7	B	1,04	-0,02	1,01	88,82
9	120,6	B	1,03	-0,01	1,02	90,02
10	118,3	C	0,97	0,1	1,07	87,04
4	117,8	C	0,97	0,36*	1,33*	79,54*
2	117,8	C	0,96	-0,19	0,78*	83,31*
11	116,7	C	0,83*	0,32*	1,15	74,13*

Fonte: (DUPONT PIONEER, 2014).

<sup>1/</sup>  $H_0: b_1 = 1$ ; <sup>2/</sup>  $H_0: b_2 = 0$ ; <sup>3/</sup>  $H_0: b_1 + b_2 = 1$ ; <sup>4/</sup>  $H_0: \sigma_{\delta_i}^2 = 0$ .

\* Significativo a 5 % de probabilidade.

Pelos resultados apresentados na tabela 4, evidenciou-se que os híbridos 1, 3, 4 e 11 apresentaram coeficiente de regressão  $b_2$  significativamente diferente de zero, o que implica comportamento mais bem descrito pelo modelo bissegmentado de Cruz, Torres e Vencovsky (1989). Para os demais híbridos, que não tiveram a hipótese  $H_0: b_2=0$  rejeitada, a utilização do modelo de regressão linear simples de Eberhart e Russell (1966) seria suficiente para explicar o comportamento dos híbridos nos diferentes ambientes.

Os híbridos 1, 3 e 4 apresentaram coeficientes de regressão  $b_1$  estatisticamente iguais a 1 (um), enquanto que o híbrido 11 apresentou  $b_1$  menor que 1 (um). Depreende-se que híbridos com  $b_1=1$  apresentam menor plasticidade

fenotípica em ambientes desfavoráveis, ou seja, espera-se que apresentem mais acentuada redução na produtividade com a diminuição da qualidade ambiental. Por outro lado, o híbrido 11 associou maior resiliência em ambientes de menor produtividade, contudo, apresentou, na média dos ambientes, uma adaptabilidade baixa.

Para a hipótese  $H_0: b_1 + b_2 = 1$ , os híbridos 3, 4 e 11 se mostraram responsivos em ambientes favoráveis, sendo esta responsividade mais evidente para o híbrido 4 ( $b_1 + b_2 > 1$ ). Já os híbridos 1 e 2 demonstraram terem baixa responsividade em ambientes de maior qualidade ambiental ( $b_1 + b_2 < 1$ ), contudo apresentaram elevado desempenho produtivo nos ambientes avaliados. Em se tratando dos híbridos que exibiram resposta linear simples em função do efeito ambiental, tem-se que os híbridos 7 e 8 se mostraram adaptados a ambientes favoráveis ( $b_1 > 1$ ), enquanto que os demais híbridos apresentaram adaptabilidade ampla ( $b_1 = 1$ ).

O emprego de cultivares híbridas de milho é, indubitavelmente, um dos principais fatores explicativos do aumento de produtividade na cultura. Ribeiro, Ramalho e Ferreira (2000), ao estudar a adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de milho (híbridos simples, duplos, triplos e cultivares de polinização livre), constataram que os híbridos se mostraram mais adaptados que as cultivares de polinização livre. Os autores observaram que, em média, o desempenho das cultivares foi 10% inferior à média dos grupos dos híbridos.

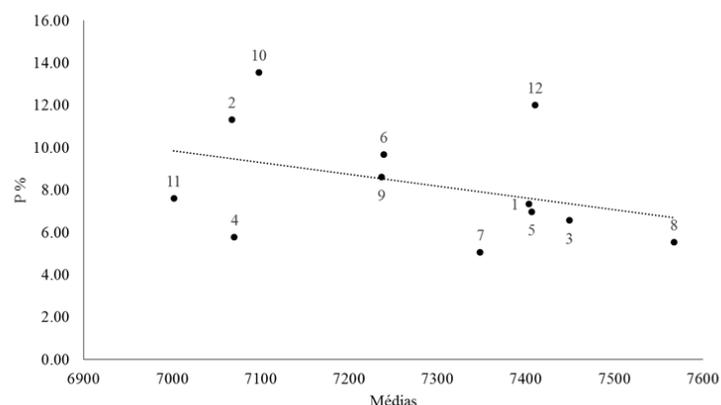
O genótipo ideal preconizado pelo modelo bissegmentado de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) é aquele que apresenta  $b_0 > \text{média geral}$ ,  $b_1 < 1$ ,  $b_1 + b_2 > 1$  e desvios da regressão iguais a zero. Dentre os híbridos testados, nenhum atende a todos estes requisitos. Todavia, os híbridos demonstraram mediana a alta previsibilidade de comportamento, o que pode ser ratificado pelo coeficiente de determinação ( $R^2 > 73\%$ ). Os híbridos 6, 9 e 10 se mostraram altamente estáveis na medida em que não apresentaram falta de ajuste ao modelo de

regressão. Conquanto, ao considerar o grupo de híbridos de maior produtividade média, podem ser destacados os híbridos 3, 5, 7, 8 e 12 como os mais promissores.

A indicação de cultivares de milho, em relação à produtividade de grãos, pode depender do método de análise de adaptabilidade e estabilidade empregado. Além de métodos baseados em regressão, como o de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), outros métodos têm sido largamente empregados pelos melhoristas, a exemplo do índice proposto por Lin e Binns (1988) e do índice de confiabilidade de Annicchiarico. Estes métodos têm, especialmente, as vantagens de facilidade de aplicação e interpretação.

A partir do índice proposto por Lin e Binns (1988), é possível identificar os híbridos que melhor se aproximaram do máximo na maioria dos ambientes. De acordo com a Figura 3, os híbridos 1, 3, 4, 5, 7 e 8 foram os mais adaptados e estáveis, ou seja, associaram menor soma de quadrados dos desvios em relação ao máximo. Ademais, evidenciou-se uma elevada correlação negativa entre o desempenho médio de cada híbrido nos diferentes ambientes e o índice de Lin e Binns, demonstrando a possibilidade de identificar híbridos adaptados e estáveis. Neste caso, vale destacar o híbrido 8 que associou elevada adaptabilidade e menor desvio em relação às produtividades máximas nos ensaios. No entanto também foi evidenciado que o híbrido 12, apesar de exibir uma média alta de produtividade, associou uma menor estabilidade fenotípica pela estimativa do índice de Lin e Binns (1988).

Figura 3 - Representação gráfica das médias de produtividade de doze híbridos de milho e os valores do índice de Lin e Binns (P%) referente aos ensaios de avanço de produto conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014.



Fonte: (DUPONT PIONEER, 2014).

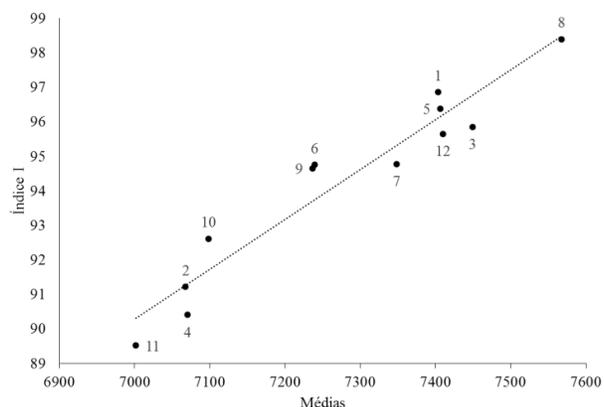
Considerando que o interesse é obter cultivares que se aproximem da produtividade máxima no maior número de ambientes, Machado et al. (2008) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de híbridos simples e híbridos duplos de milho a partir do parâmetro P% de Lin e Binns (1988). De acordo com os autores, como os valores genotípicos de híbridos simples seguem uma distribuição normal, a média dos diferentes tipos de híbridos obtidos a partir deles pode ser predita. Nessa condição, o híbrido simples mais produtivo foi 3% superior ao híbrido duplo de melhor desempenho. Dessa forma, podem ser identificados híbridos simples tão estáveis quanto os duplos.

A partir da avaliação de 34 ensaios de competição de híbridos simples de milho de ciclo precoce realizados no estado do Rio Grande do Sul, Cargnelutti Filho et al. (2007) comentam que, de maneira geral, os métodos

embasados em regressão linear demonstram ser mais informativos, quando comparados a métodos de estatística não paramétrica e análise de variância. No entanto, ainda segundo os autores, há necessidade de comparações adicionais antes de estas considerações serem generalizadas e ainda realizar comparações com metodologias baseadas em regressão linear bissegmentada, modelos não lineares e análise AMMI.

De acordo com a proposição de Annicchiarico (1992), é possível identificar aqueles híbridos que associam menor risco de adoção pelos produtores, ou seja, associam elevada confiança relativa a uma produtividade mínima possível. Pela Figura 4, depreende-se que o híbrido 8 foi o mais estável, com índice I próximo de 100% e, conseqüentemente, menor risco de adoção, seguido pelos híbridos 1, 3, 5 e 12. Fica evidente ainda a correlação alta e positiva entre as médias dos híbridos e seus respectivos valores dos índices de confiabilidade. Este resultado demonstra que os híbridos com maior produtividade média nos ambientes também associaram menor risco de adoção.

Figura 4 - Representação gráfica das médias de produtividade de doze híbridos de milho e os valores do índice de confiabilidade de Annicchiarico (I) referente aos ensaios de avanço de produto conduzidos em 80 ambientes na safrinha de 2014



Fonte: (DUPONT PIONEER, 2014).

Para verificar as concordâncias e/ou discordâncias entre as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de híbridos simples de milho, Cargnelutti Filho et al. (2007) relataram que a maior estabilidade estará obrigatoriamente associada a uma maior produtividade. Estes autores optaram por indicar as cultivares com base no método de Eberhart e Russell (1966), por considerar simultaneamente a produtividade, a estabilidade e a adaptabilidade a ambientes gerais, favoráveis e desfavoráveis.

Esses resultados corroboram com a interpretação de que os híbridos mais indicados pelos métodos propostos por Annicchiarico (1992) e Lin e Binns (1988) são, em geral, aqueles mais produtivos. Porém, apesar das facilidades na interpretação do parâmetro de estabilidade obtido por estes métodos, os resultados devem ser vistos com cautela, remetendo à necessidade de aplicação

de outro (s) método(s) que proporcione(m) um maior detalhamento do comportamento dos genótipos, no caso dos híbridos, frente à diversidade de ambientes de cultivo, a exemplo dos métodos de regressão bissegmentada propostos por Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e Toler (1990).

## 5 CONCLUSÕES

A aplicação do método AMMI possibilita o estudo da interação dos híbridos por ambientes a partir de ensaios não repetidos de avanço de produto em milho.

Os híbridos 7 e 8 são recomendados para as condições favoráveis pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), enquanto que os híbridos 3, 5 e 12 apresentam adaptabilidade ampla.

Os métodos de Annicchiarico (1992) e Lin e Binns (1988) indicam o híbrido 8 como o mais promissor por associar elevada produtividade e menor risco de adoção pelos produtores nos ambientes de cultivo testados.



## REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype x environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, Sept./Oct. 1964.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal Genetics and Breeding**, New Jersey, v. 46, n. 1, p. 269-278, Mar. 1992.
- ANUÁRIO da agricultura brasileira. São Paulo: Ed. FNP, 2013. 546 p.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Minnesota: Stemma, 2002. 369 p.
- BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P. Cultivares transgênicos. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologia de produção do milho**. 20. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2004. v. 1, p. 13-53.
- BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento de plantas: princípios e procedimentos**. Lavras: Ed. UFLA, 2001. 282 p.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 571-578, 2007.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira grãos: safra 2013/14**, v. 1, n. 10, 2014. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 26 nov. 2014.
- CROSSA, J. Statistical analysis of multi-locations trials. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 44, n. 1, p. 55-85, Feb. 1990.
- CROSSA, J. et al. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 81, n. 1, p. 27-37, 1991.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 585 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1, 514 p.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. de A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Milho cultivares para 2009/2010**. Sete Lagoas: EMBRAPA - CNPMS, 2010. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

DE CAUWER, I.; ORTIZ, R. Analysis of the genotype by environment interaction in Musa trials. **Experimental Agriculture**, Baltimore, v. 34, p. 177-188, 1998.

DESTRO, D.; MONTALVÀN, R. **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: Ed. UEL, 1999. 749 p.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes**: uma introdução a análise "AMMI". Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p.

DUPONT PIONEER. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/>>. Acesso em: 10 out. 2014.

EAST, E. M. The distinction between development and heredity inbreeding. **American Naturalist**, Chicago, v. 43, p. 173-181, 1909.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 36-40, 1966.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Resultados dos ensaios nacionais de milho**. Brasília, DF, 2008. 12 p.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: MacMillan, 1987. 487 p.

FERREIRA, D. F. **Sistemas de análises estatísticas 3.1**. Lavras: FAEPE/UFLA/PEX, 2000. Software.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Production:** crops. Rome, 2012. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org>>. Acesso em: 26 nov. 2014.

GAUCH, H. G. Full and reduced model for yield trials. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 80, n. 1, p. 153-160, 1990.

GAUCH, H. G. Model selection and validation for yield trials with interaction. **Biometrics**, Washington, v. 44, p. 705-715, 1988.

GAUCH, H. G. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 5, p. 1860- 1869, Apr. 2013.

GAUCH, H. G. **Statistical analysis of regional yield trials:** AMMI analysis of factorial designs. New York: Elsevier Science, 1992. 278 p.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trails. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed.). **Genotype by environment interaction**. New York: CRC, 1996. p. 416-428.

HALLAUER, A. R. Methods used in developing maize inbreds. **Maydica**, Bergamo, v. 35, n. 1, p. 1-16, 1990.

JONES, D. F. The effects of inbreeding and crossbreeding upon development. **Bulletin of the Connecticut Agricultural Experimental Station**, Fort Collins, v. 207, p. 5-100, 1918.

KANG, M. S. Using genotype by environment interaction for crop cultivar blending ability in oat. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 4, p. 199-252, Dec. 1998.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 1, p. 193-198, Jan. 1988.

LIN, C. S.; BINNS, M. R.; LEFKOVITCH, L. P. Stability analysis: where do stand? **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 5, p. 894-900, Sept. 1986.

MACHADO, J. C. et al. Estabilidade de produção de híbridos simples e duplos de milho oriundos de um mesmo conjunto gênico. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 627-631, 2008.

MANDEL, J. A new analysis of variance model for non-additive data. **Technometrics**, Washington, v. 13, n. 1, p. 1-18, 1971.

MARIOTTI, J. A. et al. Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genótipos de caña de azucar. **Revista Agronomica del Noroeste Argentino**, Tucuman, v. 13, n. 1/4, p. 105-127, 1976.

MILLIKEN, G. A.; JOHNSON, D. E. **Analysis of messy data**. New York: Chapman & Hall; CRC, 2000. v. 2, 199 p.

MIRANDA FILHO, J. B.; NASS, L. L. Hibridação no melhoramento. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Cuiabá: Fundação MT, 2001. p. 603-6271.

PIEPHO, H. P. Robustness of statistical test for multiplicative terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trial. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 90, p. 438-443, 1995.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

RAMALHO, M. A. P.; DIAS, L. A. dos S.; CARVALHO, B. L. Contributions of plant breeding in Brazil: progress and perspectives. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 12, p. 111-120, 2012. Issue special.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 464 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicação ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: Ed. UFG, 1993. 271 p.

RIBEIRO, P. H. E.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 11, p. 2213-2222, nov. 2000.

ROBERTSON, A. **Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations: biometrical genetics**. New York: Pergamon, 1959. 186 p.

ROSINHA, R. O. **Estratégias competitivas e reestruturação da indústria de sementes no Brasil: a análise do segmento do milho.** 2000. 143 f. Dissertação (Mestrado em Mercadologia e Administração Estratégica)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

SHAFII, B.; PRICE, W. J. Analysis of genotype-by-environment interaction using the additive main effects and multiplicative interaction model and stability estimates. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, New York, v. 3, n. 3, p. 335-345, 1998.

SHULL, G. H. A pure line method of corn breeding. **Report "American Breeders Association"**, Washington, v. 5, p. 51-59, 1909.

SOUZA SOBRINHO, F. **Divergência genética de híbridos simples e alternativas para a obtenção de híbridos duplos de milho.** 2001. 96 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

THALLAINATHAN, M.; FERNANDEZ, G. C. J. SAS applications for Tai's stability analysis and AMMI model in genotype environmental interaction (GEI) effects. **Journal of Heredity**, New York, v. 92, n. 4, p. 367-377, 2001.

TOLER, J. E. **Patterns of genotypic performance over environmental arrays.** 1990. 154 p. Thesis (Ph.D. in Plant Breeding)-Clemson University, Clemson, 1990.

VARGAS, M. et al. Interpreting treatment x environment in agronomy trials. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 4, p. 949-960, 2001.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

WRICKE, G. Zurberechnung der okovalenzbeisommerweizen und hafer. **Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung**, Berlin, v. 52, p. 127-138, 1965.

YAN, W. et al. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 3, p. 656-663, 2001.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 388-393, 1988.